



(11)

EP 3 933 483 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
05.01.2022 Bulletin 2022/01

(51) Int Cl.:
G02B 26/06 (2006.01) **G02B 26/10** (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: 21179932.5

(22) Date de dépôt: 17.06.2021

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
 Etats d'extension désignés:
BA ME
 Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(30) Priorité: 01.07.2020 FR 2006925

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **MOLLARD, Laurent**
38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)
- **DIEPPEDALE, Christel**
38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)
- **FANGET, Stéphane**
38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)
- **FOWLER, David**
38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex**
95, rue d'Amsterdam
75378 Paris Cedex 8 (FR)

(54) SCANNER OPTIQUE

(57) La présente invention concerne un scanner pourvu d'une pluralité de scanners élémentaires chacun susceptible de balayer une surface différente au moyen d'un faisceau lumineux.

A cet égard, chaque scanner élémentaire comprend une poutre, par exemple une poutre vibrante, sur ou dans laquelle est formé un réseau à commande de phase destiné à extraire au niveau d'une face de la poutre un faisceau lumineux susceptible d'être émis par une source lumineuse. Selon la présente invention, au moins une poutre d'un des scanners élémentaires, dit premier scanner, présente, au repos, une flèche différente de celle des poutres des autres scanners élémentaires. Cet agencement permet au premier scanner de balayer une surface, dit première surface, différente de celle balayée par les autres scanners élémentaires.

En d'autres termes, le scanner optique selon la présente invention permet de couvrir une surface relativement importante tout en conservant une compacité appréciable.

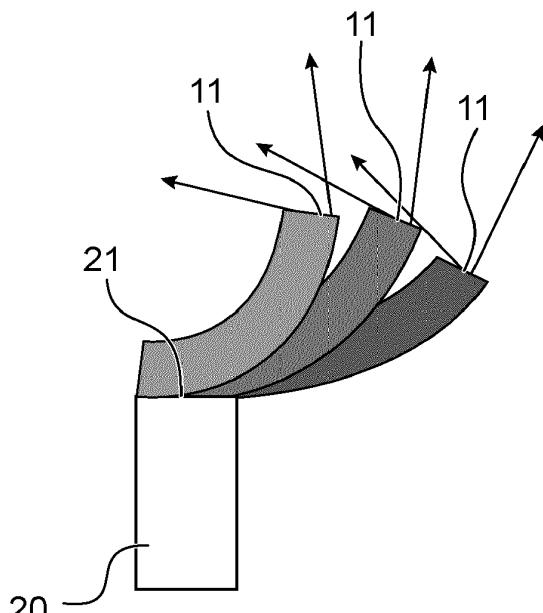


FIG.3b

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des microsystèmes opto-électromécaniques (« MOEMS » selon la terminologie Anglo-Saxonne). En particulier, la présente invention concerne un scanner optique pourvu d'une pluralité de scanners élémentaires agencés pour balayer l'espace environnant du scanner optique au moyen d'une pluralité de faisceaux lumineux.

[0002] A cet égard, chaque scanner élémentaire selon la présente invention combine une poutre pourvue d'une partie mobile à laquelle une flexion peut être imposée, et un réseau à commande de phase. En particulier, au moins une poutre parmi l'ensemble des poutres des scanners élémentaires présente une flèche différente de celle des autres poutres de manière à étendre la surface susceptible d'être balayée par l'ensemble des faisceaux lumineux extraits du scanner.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0003] Les scanners ou les micro-scanners 2D sont des dispositifs permettant de balayer avec un faisceau lumineux une scène selon une voire deux dimensions. Ces scanners peuvent notamment être mis en œuvre dans des dispositifs de type LIDAR (« Light Détection And Ranging systems ») à des fins de détection ou d'imagerie.

[0004] En pratique le balayage d'une surface ou d'un objet par un faisceau lumineux peut être réalisé au moyen d'un ou plusieurs micro-miroirs mobiles.

[0005] A cet égard, la figure 1 (extraite du document [1] cité à la fin de la description) illustre une première architecture possible d'un tel dispositif pourvu de deux micro-miroirs, dits respectivement premier micro-miroir 1_1 et deuxième micro-miroir 2_1 , agencés pour pivoter autour, respectivement, d'un premier axe pivot X_1X_1' et d'un deuxième axe pivot Y_1Y_1' non parallèles. En particulier, ces deux micro-miroirs 1_1 et 2_1 sont agencés de sorte qu'un faisceau lumineux émis par une source lumineuse 3_1 soit réfléchi par le premier micro-miroir 1_1 en direction du deuxième micro-miroir 2_1 qui le réfléchit à son tour en direction par exemple d'un écran 4_1 . La rotation de chacun des micro-miroirs 1_1 et 2_1 autour de leur axe pivot respectif permet ainsi d'effectuer un balayage d'une surface avec le faisceau lumineux par exemple à des fins d'imagerie ou de détection.

[0006] Une telle architecture n'est cependant pas satisfaisante.

[0007] En effet, cette dernière, du fait de la présence de deux micro-miroirs, est peu compacte.

[0008] Par ailleurs, cette architecture requiert un alignement précis des deux micro-miroirs et est par voie de conséquence difficile à réaliser.

[0009] Enfin, les micro-miroirs sont également susceptibles de subir un endommagement, notamment par un

échauffement induit par le faisceau lumineux.

[0010] Afin de pallier en partie ces problèmes, une deuxième architecture, illustrée à la figure 2 (extraite du document [1] cité à la fin de la description), peut être envisagée. Cette dernière met en œuvre un unique micro-miroir 1_2 monté pivotant autour de deux axes pivot X_2X_2' et Y_2Y_2' non parallèles. L'oscillation de ce micro-miroir 1_2 autour de l'un et l'autre des deux axes pivots X_2X_2' et Y_2Y_2' permet ainsi de balayer la surface d'un écran 4_1 au moyen d'un faisceau lumineux issue d'une source lumineuse 3_2 et réfléchie par ledit micro-miroir 1_2 .

[0011] Toutefois, cette deuxième architecture n'est pas non plus satisfaisante.

[0012] En effet, à l'instar de la première architecture, le micro-miroir 1_2 est également susceptible de subir un échauffement induit par le faisceau lumineux.

[0013] Par ailleurs, cette deuxième architecture est également sensible à l'alignement de la source lumineuse 3_2 et du micro-miroir 1_2 . L'alignement entre ces deux éléments est notamment sensible aux chocs subis par le dispositif mais également aux conditions de température et de pression imposées à ce dernier.

[0014] En outre, les oscillations du micro-miroir autour de l'un et l'autre des deux axes pivots X_2X_2' et Y_2Y_2' , induites par un actionneur, ne sont jamais découpées de sorte que des diaphonies (« Crosstalk » selon la terminologie Anglo-Saxonne) mécaniques sont susceptibles d'intervenir.

[0015] De manière alternative aux architectures présentées ci-avant, des micro-scanners 2D à émetteur optique à commande de phase ou à réseau optique à commande de phase (« OPA » ou « Optical Phased Array » selon la terminologie Anglo-Saxonne) ont pu être proposés.

[0016] Ces derniers peuvent comprendre une pluralité de sources optiques susceptibles d'émettre chacune un rayonnement lumineux. Chacune de ses sources optiques est par ailleurs associée à des moyens de modulation de phase destinés à déphaser les rayonnements optiques les uns par rapport aux autres de manière à faire varier l'angle de propagation du rayonnement combiné issu de l'ensemble des sources optiques. Selon une configuration avantageuse, les sources optiques peuvent être issues d'une même source principale.

[0017] Ce principe de fonctionnement peut être extrapolé à une matrice 2D de sources optiques permettant un balayage d'un faisceau optique suivant deux directions différentes, par exemple perpendiculaires l'une par rapport à l'autre.

[0018] Toutefois, ces dispositifs ne sont pas non plus satisfaisants.

[0019] En effet, l'espace effectivement balayé par le faisceau lumineux reste relativement limité.

[0020] Par conséquent, un but de la présente invention est de proposer un dispositif de balayage lumineux qui permet de balayer un espace plus important que les dispositifs connus de l'état de la technique.

[0021] Un autre but de la présente invention est de

proposer un dispositif de balayage lumineux qui présente une compacité appréciable.

[0022] Un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif de balayage lumineux plus simple à fabriquer.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0023] Les buts de l'invention sont, au moins en partie, atteints par un scanner optique qui comprend :

- un support présentant une première face plane ;
- au moins une source optique apte à émettre un faisceau optique principal d'une longueur d'onde λ ;
- une pluralité de scanners élémentaires qui comprennent chacun :
- une poutre qui comprend une partie mobile et une partie fixe, ladite partie fixe reposant sur la première face ;
- une pluralité de guides d'ondes disposés sur ou dans la partie mobile et destinés à diviser le faisceau optique principal en une pluralité de faisceaux optiques secondaires ;
- un réseau optique à commande de phase qui comprend une pluralité de déphaseurs optiques chacun couplé à un guide d'onde, disposés sur ou dans une section d'émission de la partie mobile et qui s'étend à partir d'une extrémité libre de la poutre opposée à une extrémité fixe ;

[0024] La partie mobile d'au moins une des poutres, présente, au repos, une flèche différente des flèches au repos des parties mobiles des autres poutres.

[0025] Selon un mode de mise en œuvre, les parties mobiles de chacune des poutres présentent toute, au repos, une flèche différente.

[0026] Selon un mode de mise en œuvre, chaque poutre comprend d'une première face vers une deuxième face parallèle à la première face, une première couche, une deuxième couche et une troisième couche, la flèche de la partie mobile de chacune des poutres étant imposée par un niveau de contraintes internes de l'une et/ou l'autre de la première couche et de la troisième couche, avantageusement le niveau de contrainte de l'une et/ou de l'autre de la première couche et de la troisième couche est fonction de l'épaisseur de la couche concernée.

[0027] Selon un mode de mise en œuvre, la première couche et la troisième couche comprennent chacune un matériau diélectrique, avantageusement, le matériau diélectrique comprend du dioxyde de silicium.

[0028] Selon un mode de mise en œuvre, chaque déphaseur optique comprend un réseau de diffraction couplé à des moyens de déphasage destinés à imposer un déphasage au faisceau optique secondaire issu du guide d'onde auquel est optiquement couplé le déphaseur optique considéré.

[0029] Selon un mode de mise en œuvre, les guides d'onde et/ou les réseaux de diffraction comprennent du

nitrure de silicium.

[0030] Selon un mode de mise en œuvre, pour chacune des poutres, les déphaseurs optiques sont agencés en lignes parallèlement ou perpendiculairement à un axe d'elongation XX' défini par l'extrémité fixe et l'extrémité libre.

[0031] Selon un mode de mise en œuvre, les déphaseurs optiques sont agencés de manière matricielle.

[0032] Selon un mode de mise en œuvre, chaque scanner élémentaire est également pourvu d'un actionneur agencé pour imposer une flexion à la partie mobile de la poutre considérée.

[0033] Selon un mode de mise en œuvre, l'actionneur comprend au moins un des moyens choisis parmi : des moyens électrostatiques, des moyens magnétiques, des moyens piézoélectriques, des moyens thermiques.

[0034] L'invention n'est toutefois pas limitée à ces seuls moyens.

[0035] Selon un mode de mise en œuvre, le support est de forme parallélépipédique ou cylindrique ou autre. L'invention n'est pas limitée à ces seules formes. En particulier, le support peut prendre d'autres formes régulières ou non, par exemple pyramidales.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0036] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans la description qui va suivre d'un scanner optique selon l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

La figure 1 illustre une première architecture d'un dispositif de balayage lumineux connu de l'état de la technique, le dispositif comprend notamment deux micro-miroirs montés pivotant chacun autour d'un axe pivot différent et non parallèles ;

La figure 2 illustre une deuxième architecture d'un dispositif de balayage lumineux connu de l'état de la technique, le dispositif comprend notamment un micro-miroir monté pivotant autour de deux axes pivot différents et non parallèles ;

Les figures 3a et 3b sont des représentations schématiques d'un exemple de mise en œuvre d'un scanner selon la présente invention, respectivement, en vue de dessus et en vue de profil ;

La figure 4 est une représentation schématique d'un scanner élémentaire selon un plan de coupe perpendiculaire à la première face et comprenant l'axe d'elongation XX' selon la présente invention ;

La figure 5 est une représentation partielle d'un scanner optique selon une vue à l'aplomb de la première face et illustrant un agencement des guides d'onde susceptible d'être mis en œuvre dans le cadre de la présente invention ;

La figure 6 est une illustration d'un déphaseur optique selon une première architecture susceptible d'être mis en œuvre dans le cadre de la présente

invention ;

La figure 7 est une illustration d'un déphasageur optique (issu du document [4] cité à la fin de la description) selon une deuxième architecture susceptible d'être mis en œuvre dans le cadre de la présente invention ;

La figure 8 est une représentation partielle d'un scanner optique selon une vue à l'aplomb de la première face et illustrant un agencement des réseaux de diffraction selon une deuxième variante de la présente invention ;

La figure 9 est une représentation partielle d'un scanner optique selon une vue à l'aplomb de la première face et illustrant un agencement des réseaux de diffraction selon une troisième variante de la présente invention ;

Les figures 10a, 10b sont des représentations schématiques d'un autre exemple de mise en œuvre d'un scanner selon la présente invention en vue dessus, la figure 10a et la figure 10b représentent notamment chacun un scanner optique pourvu d'un support de forme, respectivement, parallélépipédique et cylindrique.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

[0037] La présente invention concerne un scanner pourvu d'une pluralité de scanners élémentaires chacun susceptible de balayer une surface différente au moyen d'un faisceau lumineux.

[0038] A cet égard, chaque scanner élémentaire comprend une poutre, par exemple une poutre vibrante, sur ou dans laquelle est formé un réseau à commande de phase destiné à extraire au niveau d'une face de la poutre un faisceau lumineux susceptible d'être émis par une source lumineuse. Selon la présente invention, au moins une poutre d'un des scanners élémentaires, dit premier scanner, présente, au repos, une flèche différente de celle des poutres des autres scanners élémentaires. Cet agencement permet au premier scanner de balayer une surface, dite première surface, différente de celle balayée par les autres scanners élémentaires.

[0039] En d'autres termes, le scanner optique selon la présente invention permet de couvrir une surface relativement importante tout en conservant une compacité appréciable.

[0040] Ainsi les figures 3a et 3b sont des représentations schématiques d'un exemple de mise en œuvre d'un scanner 10 selon la présente invention.

[0041] Le scanner 10 comprend notamment un support 20 fixe pourvu d'une face principale 21. Le support 20 peut notamment être obtenu à partir d'un substrat semi-conducteur, par exemple du silicium.

[0042] L'invention n'est cependant pas limitée à cette seule mise en œuvre, et ledit support 20 peut comprendre tout autre matériau susceptible d'assurer la fonction de support.

[0043] Le support 20 peut être de forme parallélépipédique ou cylindrique, sans toutefois limiter l'invention à ces seules formes (figures 10a et 10b).

[0044] Le scanner 10 comprend également au moins une source optique, par exemple une unique source 50, apte à émettre un faisceau optique principal d'une longueur d'onde λ (figure 4).

[0045] Le faisceau optique principal est avantageusement quasi-monochromatique, voire monochromatique.

[0046] La source optique 50 peut par exemple comprendre une source LASER.

[0047] La longueur d'onde λ peut être comprise entre 400 nm et 2500 nm, par exemple être égale à 905 nm, ou égale à 1330 nm ou encore égale à 1550 nm.

[0048] Tel que représenté à la figure 4, un scanner élémentaire 11 comprend une poutre 30 pourvue d'une première face 31 et d'une deuxième face 32, et qui s'étend, selon un axe d'élongation XX' d'une extrémité fixe 33 vers une extrémité libre 34.

[0049] Par « poutre », on entend un élément mécanique solide de forme généralement allongée. A titre d'exemple, une poutre selon les termes de la présente invention peut être de forme parallélépipédique.

[0050] L'axe d'élongation XX', au sens de la présente invention, n'est pas nécessairement linéaire et peut par voie de conséquence présenter une courbure (et donc une flèche). Cet aspect est décrit plus en détails dans la suite de la présente description.

[0051] La poutre 30 comprend, par ailleurs, une partie mobile 36 qui s'étend de l'extrémité libre 34 vers l'extrémité fixe 33. La poutre 30 peut également comprendre une partie fixe 35, dans le prolongement de la partie mobile et en direction de l'extrémité fixe 33. La poutre 30 est notamment solidaire du support 20 par sa partie fixe 35. En particulier, la partie fixe 35 repose sur la face principale 21.

[0052] Par « partie mobile », on entend une partie de poutre susceptible de subir une déformation par flexion et/ou par torsion. Par exemple, la partie mobile peut subir une flexion selon une direction perpendiculaire à la première face et/ou une torsion autour d'un axe d'élongation XX' défini par l'extrémité fixe et l'extrémité libre.

[0053] La poutre 30 peut présenter une épaisseur comprise entre 1 μm et plusieurs centaines de μl , une longueur comprise entre 100 μm et plusieurs millimètres, et une largeur comprise entre 10 μm et plusieurs millimètres.

[0054] L'épaisseur de la poutre est définie comme la distance séparant la première face et la deuxième face. La longueur de la poutre est sa dimension mesurée selon la direction définie par l'axe d'élongation XX' tandis que que sa largeur est sa dimension mesurée selon une direction perpendiculaire à celle définie par l'axe d'élongation XX' et l'épaisseur de ladite poutre.

[0055] Chaque scanner élémentaire 11 comprend

également une pluralité de guides d'onde 60i disposés sur ou dans la poutre 30 et destinés à diviser le faisceau optique principal en une pluralité de faisceaux optiques secondaires. La figure 5 illustre à cet égard un agencement possible des guides d'onde 60i selon une vue à l'aplomb de la première face 31. Ces guides d'ondes sont, selon cet exemple, disposés parallèlement à l'axe d'élongation XX', et de sorte que le rapport entre leur espace (en μm) et la longueur d'onde λ (en nm) soit compris entre 0,5 et 10.

[0056] Les guides d'ondes peuvent par exemple être d'une longueur comprise entre une centaine de microns et une dizaine de millimètres, et être espacés les uns des autres d'une distance comprise entre une centaine de microns et une dizaine de millimètres.

[0057] L'exemple illustré à la figure 5 n'a pas vocation à limiter la présente invention à ce seul agencement, et il apparaîtra clairement dans la suite de l'énoncé que d'autres agencements et/ou géométries peuvent être considérés.

[0058] Le faisceau optique principal émis par la source optique 50 est avantageusement transmis au niveau des poutres 30 par des moyens de couplage optique 51, par exemple par une ou plusieurs fibres optiques (figure 4).

[0059] Chaque scanner élémentaire 11 comprend également un réseau optique à commande de phase 70 qui comprend une pluralité de déphasateurs optiques.

[0060] Le réseau à commande de phase 70 peut être piloté par des moyens de commande.

[0061] Le réseau optique à commande de phase 70 comprend une pluralité de déphasateurs optiques 71i chacun couplé à un guide d'onde 60i.

[0062] Les déphasateurs optiques 71i sont par ailleurs disposés sur ou dans une section d'émission 37 de la partie mobile 36 et qui s'étend à partir de l'extrémité libre 34.

[0063] Selon la présente invention, chaque déphaseur optique 70i peut comprendre un réseau de diffraction 71i couplé à des moyens de déphasage 72i.

[0064] En particulier, chaque moyen de déphasage 72i est destiné à imposer un déphasage au faisceau optique secondaire issu du guide d'onde 60i auquel est optiquement couplé le déphaseur optique considéré 70i.

[0065] La figure 6 est une illustration d'un déphaseur optique 70i selon une première architecture susceptible d'être mise en œuvre dans le cadre de la présente invention. En particulier, le réseau de diffraction 71i est formé de plots alignés dans le prolongement du guide d'onde 60i, tandis que les moyens de déphasage 72i peuvent comprendre un élément chauffant disposé à l'aplomb du guide d'onde 60i et destinés à chauffer localement ce dernier afin de moduler son indice de réfraction.

[0066] La figure 7 est une illustration d'un déphaseur optique 70i selon une deuxième architecture susceptible d'être mise en œuvre dans le cadre de la présente invention. En particulier, le réseau de diffraction 71i est formé d'arcs pleins alignés, tandis que les moyens de

déphasage 72i peuvent comprendre un élément chauffant destiné à chauffer localement le guide d'onde 60i afin de moduler son indice de réfraction.

[0067] De manière avantageuse, les guides d'onde et/ou les réseaux de diffraction peuvent comprendre du silicium.

[0068] Selon une première variante, les déphasateurs optiques peuvent être agencés en ligne perpendiculairement à un axe d'élongation XX' défini par l'extrémité fixe et l'extrémité libre (figure 5).

[0069] En fonctionnement, un tel scanner élémentaire 11, le faisceau optique principal émis par la source optique est dans un premier temps divisé en une pluralité de faisceaux optiques secondaires guidés par la pluralité de guides d'onde 60i. Chaque faisceau optique secondaire guidé par un guide d'onde donné est ensuite extrait de la poutre au moyen du réseau de diffraction 71i auquel est associé le guide d'onde considéré. L'ensemble des faisceaux optiques secondaires ainsi extraits d'une même poutre se recombinent pour former un faisceau dit faisceau élémentaire. Un déphasage entre les faisceaux optiques d'une même poutre induit par les moyens de déphasage 72i permet de faire varier l'angle de propagation du faisceau élémentaire. Cet angle de propagation varie notamment dans un plan normal à la première face et qui comprend la direction d'alignement des déphasateurs optiques.

[0070] Selon une deuxième variante illustrée à la figure 8, les déphasateurs optiques 70i peuvent être agencés en lignes parallèlement l'axe d'élongation XX'.

[0071] Selon une troisième variante illustrée à la figure 9, les déphasateurs optiques 70i peuvent être agencés de manière matricielle.

[0072] Par « agencé de manière matricielle », on entend agencés selon N lignes et M colonnes. Selon cette troisième variante, un scanner élémentaire peut ainsi bâiller l'espace selon deux angles de propagation.

[0073] De manière particulièrement avantageuse, la partie mobile d'au moins une des poutres, présente, au repos, une flèche différente des flèches au repos des parties mobiles des autres poutres.

[0074] Par « flèche », on entend une déformation ou une déflexion de la partie mobile de la poutre par rapport à un axe d'élongation rectiligne. La flèche peut être caractérisée par un angle de déflexion au repos.

[0075] Une flèche au repos correspond à une déformation intrinsèque de la partie mobile. En d'autres termes cette déformation de la partie mobile ne résulte pas d'une action extérieure ou de l'application d'une contrainte particulière au niveau de ladite partie mobile.

[0076] Plus particulièrement, la flèche au repos de la partie mobile dépend des contraintes internes des matériaux constitutifs de la poutre. A cet égard, les documents [2] et [3] cités à la fin de la description concernent l'effet de telles contraintes sur la flèche au repos de la poutre.

[0077] Ainsi, une couche présentant une contrainte en tension (et inversement compression) disposée entre la

fibre neutre de la poutre et sa deuxième face va entraîner une flexion de ladite poutre selon une direction normale à ladite deuxième face (inversement selon une direction opposée à la direction normale à la deuxième face).

[0078] De manière équivalente, une couche présentant une contrainte en tension (et inversement compression) disposée entre la fibre neutre de la poutre et sa première face va entraîner une flexion de ladite poutre selon une direction normale à ladite première face (inversement selon une direction opposée à la direction normale à la première face).

[0079] Les propriétés (et notamment leurs contraintes internes et/ou leurs épaisseurs) des couches constitutives de la poutre gouvernent ainsi la flexion au repos, (ainsi que son amplitude) de la poutre.

[0080] La différence de flèche entre parties mobiles permet à chaque scanner élémentaire de balayer, avec le faisceau élémentaire qui lui est associé, une zone ou une surface différente. La surface ainsi couverte par le scanner optique 10 selon la présente invention est accrue au regard des scanners optiques connus de l'état de la technique.

[0081] La compacité d'un tel scanner reste par ailleurs.

[0082] Selon un mode de mise en œuvre particulièrement avantageux, la flèche au repos de la partie mobile peut résulter d'une contrainte interne induite par la structure même de la poutre.

[0083] À cet égard, la poutre 30 d'un scanner élémentaire 11 peut comprendre, de sa première face 31 vers sa deuxième face 32, une première couche, une deuxième couche et une troisième couche. Selon cette configuration, la flèche de la partie mobile de chacune des poutres est imposée par un niveau contrainte de l'une et/ou l'autre de la première couche 30₁ et de la troisième couche 30₃. Plus particulièrement, le niveau de contrainte de l'une et/ou de l'autre de la première couche 30₁ et de la troisième couche 30₃ est fonction de l'épaisseur de la couche concernée.

[0084] La première couche 30₁ et la troisième couche 30₃ peuvent avantageusement comprendre un matériau diélectrique et plus particulièrement du dioxyde de silicium.

[0085] La deuxième couche 30₂ peut comprendre un matériau semi-conducteur, avantageusement du silicium, et encore plus avantageusement du silicium poly cristallin.

[0086] De manière équivalente, il est observé une diminution de la défexion au repos à mesure que l'épaisseur E1 croît.

[0087] Ainsi, il est possible d'imposer de manière simple la flèche d'une poutre par simple ajustement de l'une et/ou l'autre de la première et de la deuxième épaisseur.

[0088] En pratique, une première couche faite SiO₂ présentant une contrainte en compression de l'ordre de 200 MPa et un module de Young de 70 GPA entraînera une flexion selon une direction normale à la première face. Cette flexion est d'autant plus importante que l'épaisseur de ladite couche est élevée.

[0089] De manière équivalente, une troisième couche faite de TEOS présentant une contrainte en compression de l'ordre de 80 MPa et un module de Young de 70 GPa, entraînera une flexion selon une direction normale à la deuxième face. Cette flexion est d'autant plus importante que l'épaisseur de ladite couche est élevée.

[0090] La considération selon la présente invention d'une poutre présentant une flèche au repos différente d'un scanner élémentaire à l'autre permet à chacun de ces derniers de balayer une surface, dite surface élémentaire, différente. Les surfaces élémentaires combinées entre elles forment alors la surface totale susceptible d'être balayée par le scanner optique 10. Cette surface totale peut être notamment modulée en fonction du nombre de scanners élémentaires et de leur agencement par rapport au support 20.

[0091] À cet égard, la figure 10a représente un premier agencement possible des scanners élémentaires sur un support 20 de forme parallélépipédique. Selon ce premier agencement, une première pluralité de scanners élémentaires 11 (au nombre de trois) s'étend à partir d'un côté de la face principale 21, tandis qu'une deuxième pluralité de scanners élémentaires 11 (au nombre de trois) s'étend à partir d'un autre côté de la face principale.

[0092] La figure 10b illustre un autre agencement possible. Selon cet agencement, le support est de forme cylindrique, et les scanners élémentaires 11 s'étendent de manière essentiellement radiale.

[0093] De manière particulièrement avantageuse, chaque scanner élémentaire 11 est également pourvu d'un actionneur 40 agencé pour imposer une flexion à la partie mobile de la poutre considérée.

[0094] L'actionneur 40 peut être commandé par les moyens de commande, par exemple des moyens de commande électronique, notamment équipés d'un microprocesseur ou d'un calculateur. Ces moyens de commande peuvent notamment être adaptés pour faire vibrer la poutre en flexion. Ces moyens de commande peuvent en particulier imposer une vibration à la poutre en flexion ou en torsion. Cette vibration peut notamment présenter une fréquence égale à la fréquence de résonance de la poutre de manière à bénéficier du facteur de qualité mécanique. Un fonctionnement à la fréquence de résonance permet également d'amplifier le mouvement de la poutre.

[0095] À cet égard, la fréquence de résonance d'une poutre de longueur L, de largeur b, d'épaisseur h et de densité ρ et de module d'Young E suit à la relation suivante :

50

$$\left(\frac{E}{\rho}\right)^{1/2} \frac{h}{L^2}$$

[0096] Ainsi, la fréquence de résonance augmente avec l'épaisseur et diminue lorsque sa longueur augmen-

te. Cette diminution en fonction de l'épaisseur suit néanmoins une loi au carré et est donc plus marquée lorsqu'il s'agit de modifier la longueur.

[0097] En d'autres termes, la fréquence de résonance de la poutre peut être ajustée par son épaisseur et sa longueur.

[0098] Une « flexion » de la poutre correspond ici à une déformation de cette dernière selon un plan perpendiculaire à la première face 31. Cette flexion imposée par l'actionneur 40 vient se cumuler à la flèche au repos de la poutre.

[0099] L'actionneur 40 peut par exemple comprendre des moyens choisis parmi : des moyens des électrostatiques, des moyens magnétiques, des moyens piézoélectriques, des moyens thermiques. L'invention n'est toutefois pas limitée à ces seuls moyens.

[0100] L'actionneur 40 peut être disposé au moins en partie sur la partie mobile 36. Plus particulièrement, l'actionneur 40 peut recouvrir partiellement la partie mobile 36 et la partie fixe 35 au niveau de la première face.

[0101] L'exemple représenté à la figure 4 met en œuvre un actionneur 40 piézoélectrique. En particulier, dans cet exemple, l'actionneur 40 comprend une couche de matériau piézoélectrique 41 intercalée entre deux électrodes 42 et 43 destinées à imposer une tension électrique non-nulle de part et d'autre de ladite couche de matériau piézoélectrique 41. A cet égard, l'actionneur 40 peut être pourvu de contacts C1 et C2 au niveau desquels une tension d'alimentation des électrodes peut être appliquée. Cette tension d'alimentation peut notamment être appliquée avec les moyens de commande. Sous l'action de cette tension électrique, la couche de matériau piézoélectrique contracte selon un plan perpendiculaire à la première face 31, et entraîne en flexion la partie mobile 36 de la poutre 30.

[0102] A cet égard, et tel que précisé dans le document [2] cité à la fin de la description, plus le champ de polarisation électrique imposé à la couche de matériau piézoélectrique (par exemple un couche de PZT) est élevé, plus la flexion de l'ensemble formé par ladite couche et la poutre est importante. Cette flexion est dépendante non seulement des propriétés mécaniques et géométrique de la poutre mais également du champ de polarisation électrique imposé à la couche de matériau piézoélectrique.

[0103] La direction de fléchissement de la couche de matériau piézoélectrique peut dépendre du signe de la tension électrique imposée par les électrodes, notamment lorsque ladite couche comprend un matériau piézoélectrique non ferroélectrique.

[0104] L'amplitude de fléchissement, quant à elle, peut dépendre de nombreux paramètres parmi lesquelles on peut citer : la raideur de la poutre, l'amplitude de la tension imposée par les électrodes, l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique.

[0105] Plus particulièrement, l'amplitude de fléchissement d'une poutre, pour une charge donnée, est directement proportionnelle à la puissance quatre de sa lon-

gueur et inversement proportionnelle au produit de son épaisseur par son moment d'inertie.

[0106] En d'autres termes, l'amplitude de fléchissement d'une poutre croît avec sa longueur et/ou lorsque son épaisseur diminue.

[0107] Ainsi, et eu égard à ce qui précède, l'amplitude de fléchissement dépend des paramètres mécaniques et géométriques de la poutre, mais est également fonction du champ de polarisation imposé par les électrodes.

[0108] La poutre peut également présenter une flexion initiale qui exerce une influence sur l'amplitude de flexion de cette dernière.

[0109] De manière avantageuse, il est possible de faire vibrer la poutre, et plus particulièrement à sa fréquence de résonnance afin de conférer au scanner un meilleur facteur de qualité.

[0110] La couche de matériau piézoélectrique peut comprendre au moins l'un des matériaux choisis parmi : PZT (Titano-Zirconate de Plomb) ou AlN (niture d'aluminium). D'autres matériaux piézoélectriques sont envisageables.

[0111] L'emploi d'un actionneur au niveau de chacune des poutres permet d'imposer également une direction de balayage, par exemple autre ou identique à celle associé au réseau optique à commande de phase.

[0112] Selon un autre aspect de la présente invention, la section d'émission 37 présente une transparence adaptée pour permettre une extraction lumineuse à partir de la première face et de la deuxième face. En d'autres termes, le faisceau optique principal peut être extrait sous la forme d'un premier faisceau au niveau de la première face et d'un deuxième faisceau au niveau de la deuxième face.

[0113] Par ailleurs, toujours selon cet aspect, la section d'émission 37 comprend uniquement la première couche 30₁ (figure 4). Ainsi, le deuxième faisceau susceptible d'être extrait au niveau de la deuxième face 32 n'est plus écranté/absorbé par la deuxième couche 30₂ et la troisième couche 30₃. Cet agencement permet de mettre en œuvre une deuxième couche faite de silicium et de considérer faisceau optique principal d'une longueur d'onde λ égale à 905 nm.

[0114] Ainsi, le scanner optique selon la présente invention permet de balayer une surface d'une étendue plus importante que les scanners connus de l'état de la technique tout en conférant à ce dernier une compacité appréciable au regard des dispositifs faits de micro-miroirs.

[0115] Par ailleurs, ce scanner optique, qui ne met pas en œuvre de micro-miroirs, ne nécessite pas d'alignement et reste simple à mettre en œuvre.

[0116] Le scanner 10 selon la présente invention peut avantageusement être mis en œuvre dans un projecteur d'images de taille réduite (par exemple un pico-projecteur) dans un équipement électronique mobile, et plus particulièrement, un téléphone portable, une montre connectée, dans des équipements de projection intra rétiniennes (pour la réalité augmentée).

[0117] La scanner peut également être mis en œuvre dans le cadre d'application 3D, et notamment d'imagerie 3D.

[0118] Le scanner 10 peut également former la partie active d'un LIDAR, et par exemple être mis en œuvre dans un véhicule autonome.

RÉFÉRENCES

[0119]

- [1] Sven Holmstrom et al., "MEMS laser scanners : a review", Journal of Microelectromechanical Systems . April 2014, DOI: 10.1109/JMEMS.2013.2295470 ;
- [2] section 13.5.3 de l'ouvrage « Intégration of Ferroelectric and Piezoelectric Thin Films » de Defay ;
- [3] Hsueh et al., « Thermal stress analyses of multi-layered films on substrates and cantilever beams for micro sensors and actuators "J. Micromech. Microeng., 16, 2509-2515, 2006 ;
- [4] Jie Sun et al., « Large-scale nanophotonic phased array », Nature, 11727, vol 493, 195-199, January 2013.

Revendications

1. Scanner optique (10) qui comprend :

- un support (20) présentant une première face (31) plane ;
- au moins une source optique (50) apte à émettre un faisceau optique principal d'une longueur d'onde λ ;
- une pluralité de scanners élémentaires (11) qui comprennent chacun :

 - une poutre (30) qui comprend une partie mobile (36) et une partie fixe, ladite partie fixe reposant sur la première face (31) ;
 - une pluralité de guides d'onde (60i) disposés sur ou dans la partie mobile (36) et destinés à diviser le faisceau optique principal en une pluralité de faisceaux optiques secondaires ;
 - un réseau optique à commande de phase (70) qui comprend une pluralité de déphasateurs optiques (71i) chacun couplé à un guide d'onde, disposés sur ou dans une section d'émission (37) de la partie mobile (36) et qui s'étend à partir d'une extrémité libre (34) de la poutre (30) opposée à une extrémité fixe (33) ; la partie mobile (36) d'au moins une des poutres (30), présente, au repos, une flèche différente des flèches au repos des parties mobiles des autres poutres (30).

2. Scanner optique (10) selon la revendication 1, dans lequel les parties mobiles de chacune des poutres

(30) présentent toute, au repos, une flèche différente.

- 3. Scanner optique (10) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel chaque poutre (30) comprend d'une première face (31) vers une deuxième face (32) parallèle à la première face (31), une première couche (30₁), une deuxième couche (30₂) et une troisième couche (30₃), la flèche de la partie mobile (36) de chacune des poutres (30) étant imposée par un niveau contrainte de l'une et/ou l'autre de la première couche (30₁) et de la troisième couche (30₃), avantageusement le niveau de contrainte de l'une et/ou de l'autre de la première couche (30₁) et de la troisième couche (30₃) est fonction de l'épaisseur de la couche concernée.
- 4. Scanner optique (10) selon la revendication 3, dans lequel la première couche (30₁) et la troisième couche (30₃) comprennent chacune un matériau diélectrique, avantageusement, le matériau diélectrique comprend du dioxyde de silicium.
- 5. Scanner optique (10) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel chaque déphaseur optique comprend un réseau de diffraction (71i) couplé à des moyens de déphasage (72i) destinés à imposer un déphasage au faisceau optique secondaire issu du guide d'onde auquel est optiquement couplé le déphaseur optique considéré.
- 6. Scanner optique (10) selon l'une des revendications 5, dans lequel les guides d'onde (60i) et/ou les réseaux de diffraction comprennent du nitre de silicium.
- 7. Scanner optique (10) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel, pour chacune des poutres (30), les déphasateurs optiques (71i) sont agencés en lignes parallèlement ou perpendiculairement à un axe d'elongation XX' défini par l'extrémité fixe (33) et l'extrémité libre (34).
- 8. Scanner optique (10) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les déphasateurs optiques (71i) sont agencés de manière matricielle.
- 9. Scanner optique (10) selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel chaque scanner élémentaire est également pourvu d'un actionneur (40) agencé pour imposer une flexion ou une torsion à la partie mobile (36) de la poutre (30) considérée.
- 10. Scanner optique (10) selon la revendication 9, dans lequel l'actionneur (40) comprend au moins un des moyens choisis parmi : des moyens des électrostatiques, des moyens magnétiques, des moyens piézoélectriques, des moyens thermiques.

11. Scanner optique (10) selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel le support (20) est de forme parallélépipédique ou cylindrique.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

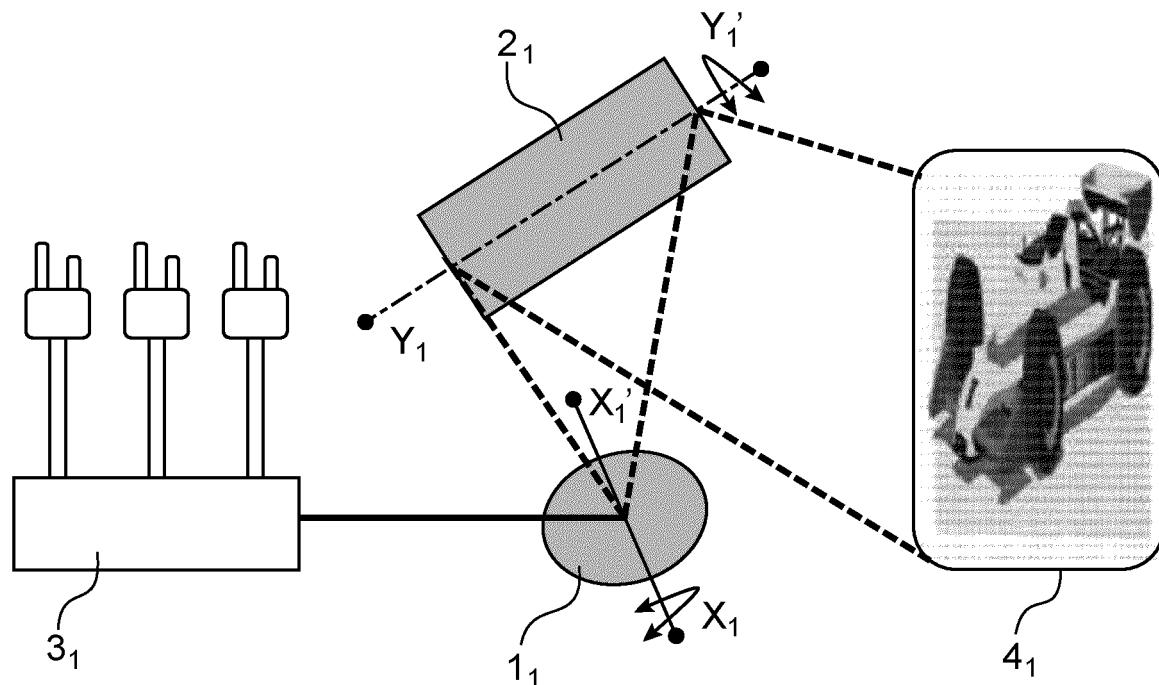


FIG.1

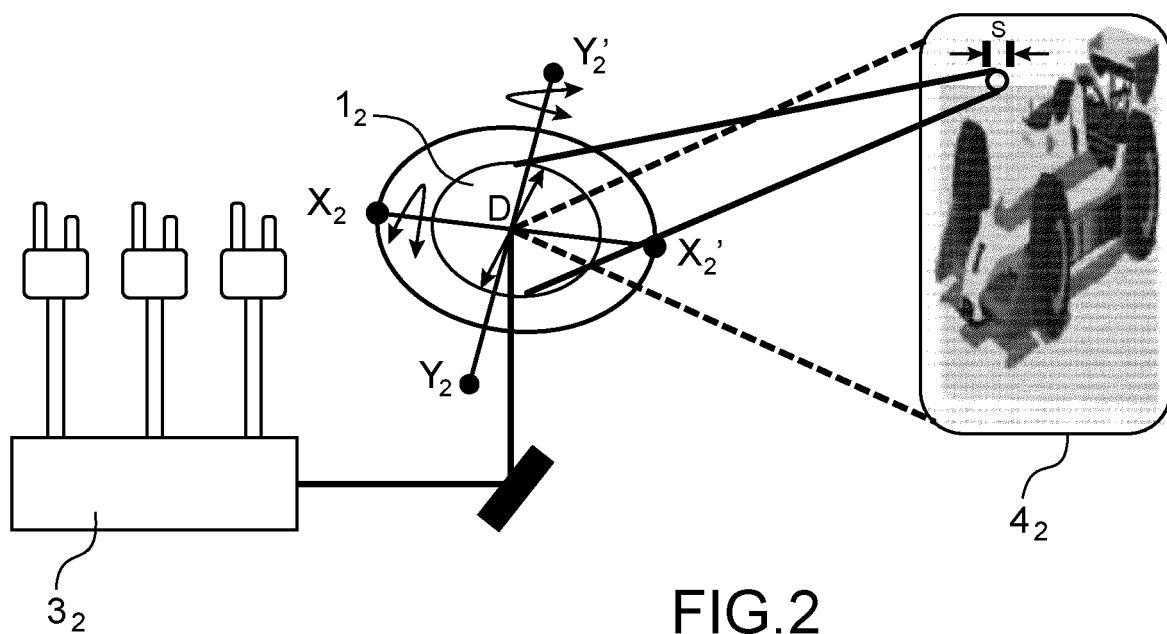


FIG.2

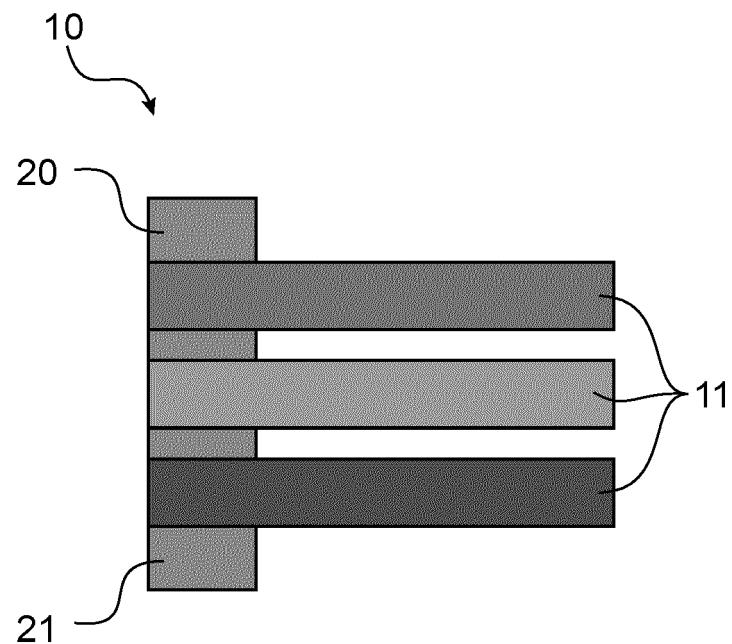


FIG.3a

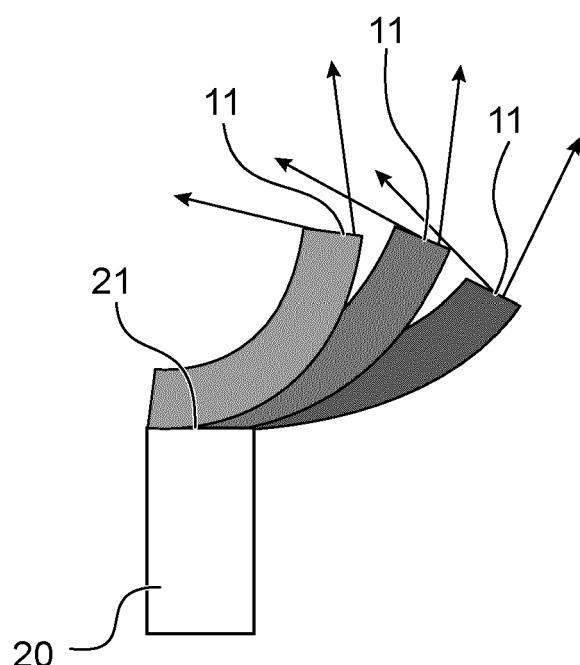


FIG.3b

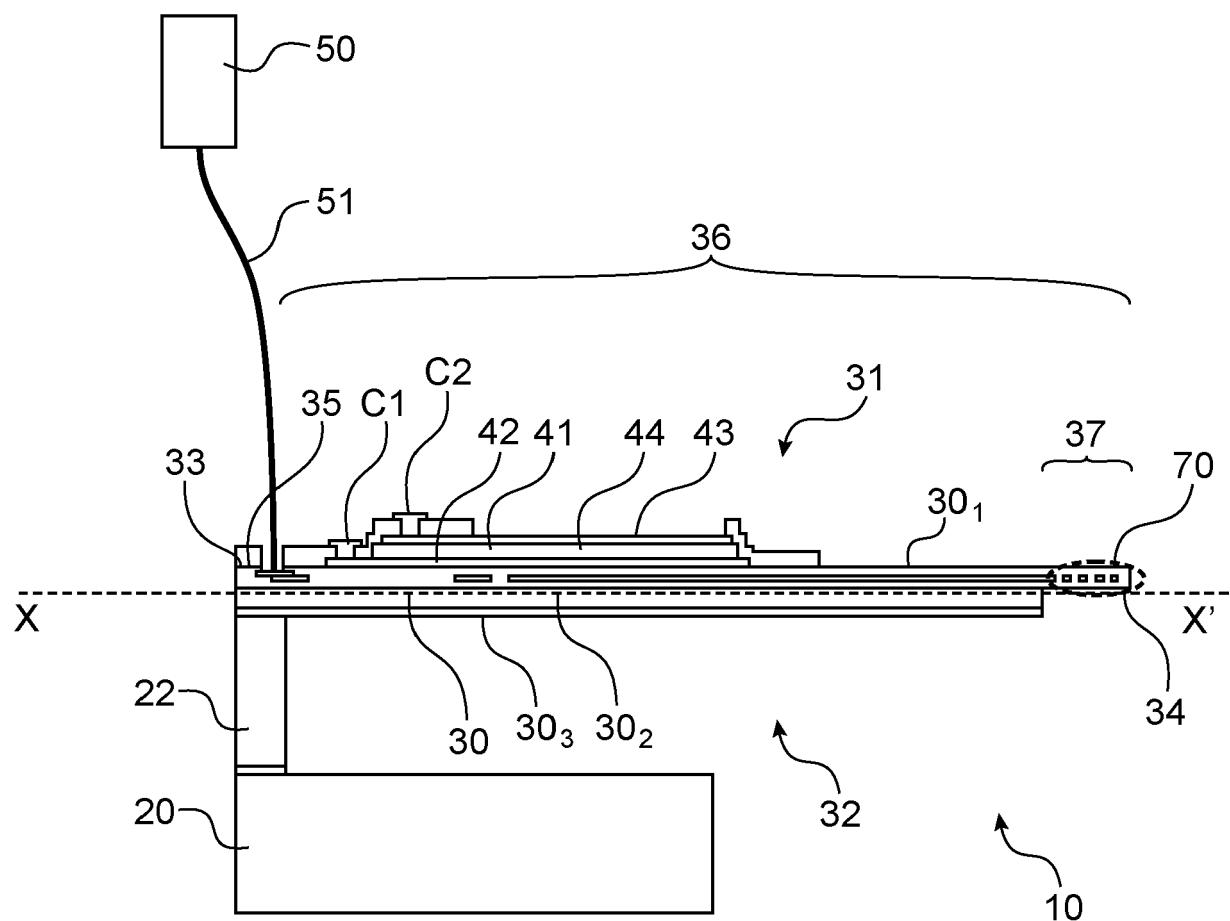


FIG.4

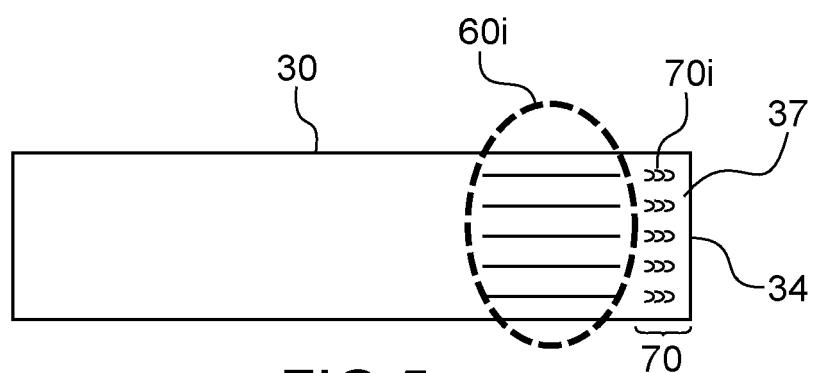


FIG.5

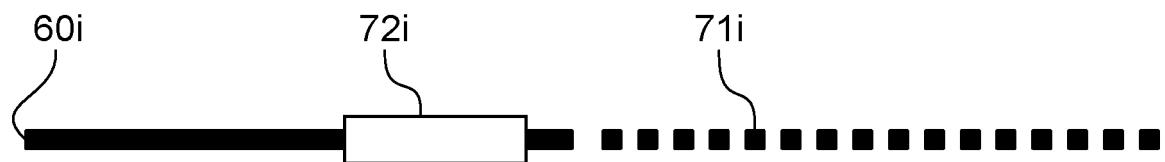


FIG.6

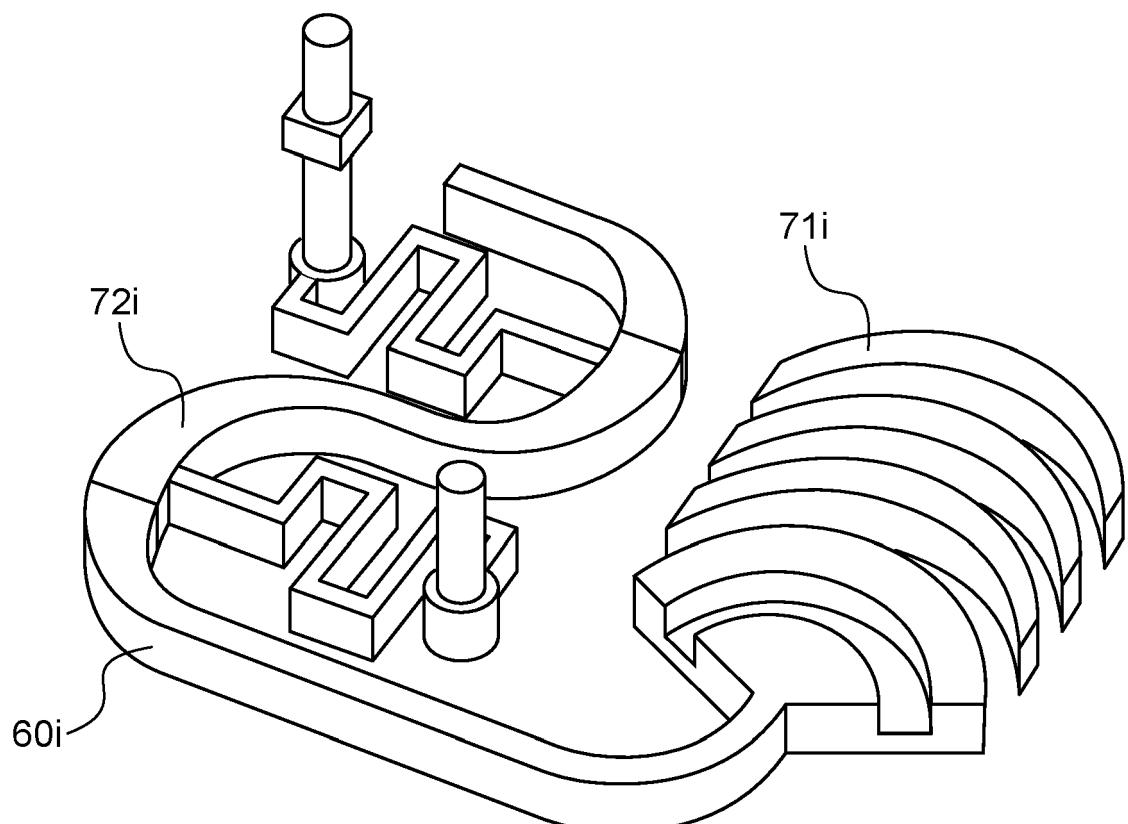


FIG.7

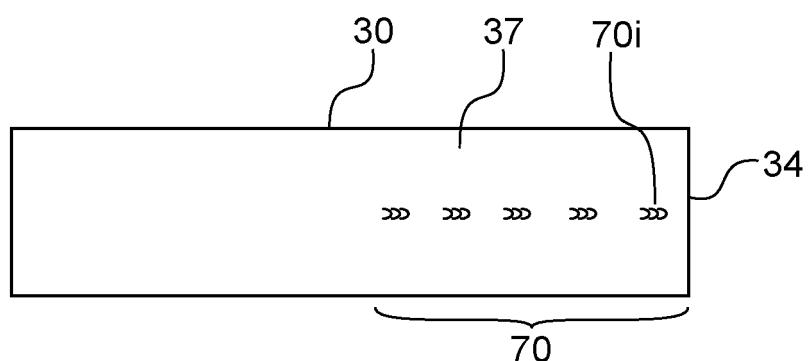


FIG.8

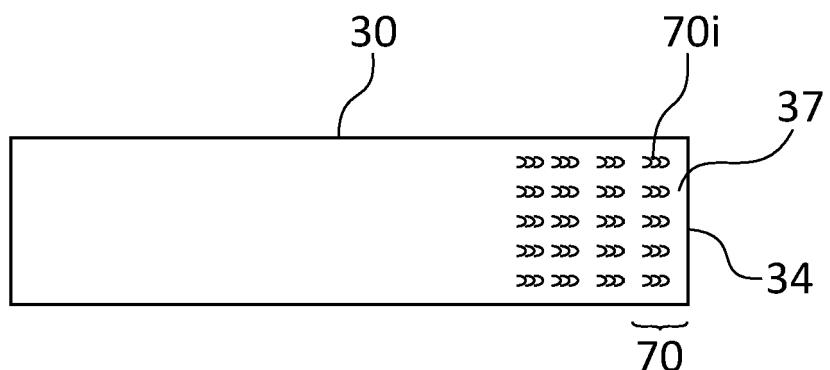


FIG.9

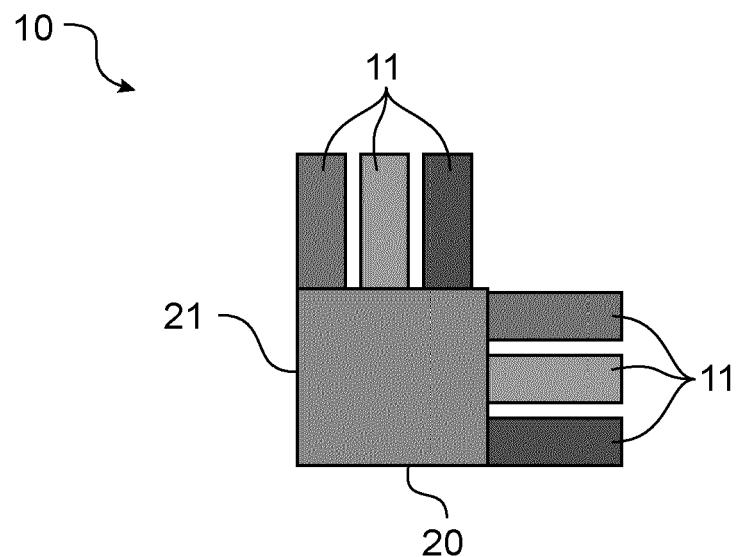


FIG. 10a

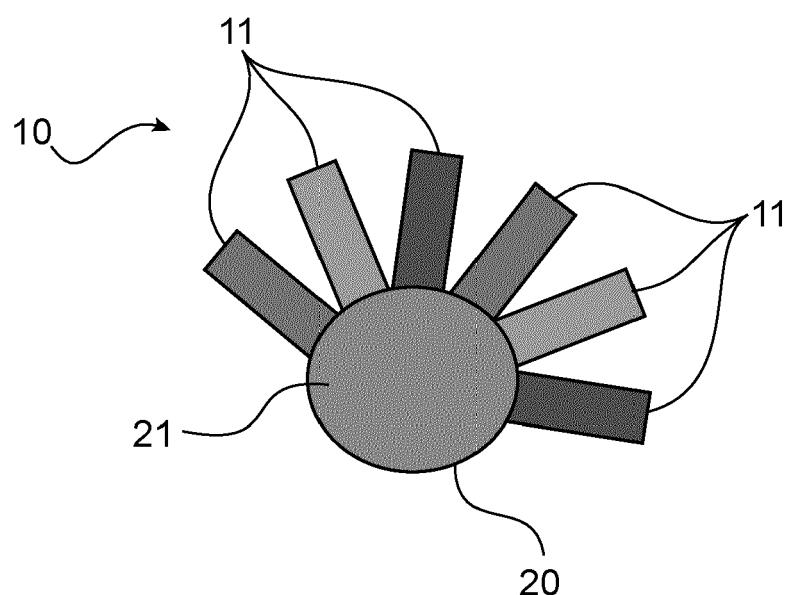


FIG. 10b



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 21 17 9932

5

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
10	A WO 2018/222727 A1 (UNIV CORNELL [US]) 6 décembre 2018 (2018-12-06) * abrégé; figure 3 * * alinéa [0006] - alinéa [0025] * -----	1-11	INV. G02B26/06 G02B26/10 G02B27/00
15	A FR 2 923 092 A1 (THALES SA [FR]) 1 mai 2009 (2009-05-01) * abrégé; figures 1-4 * * page 5, ligne 5 - page 6, ligne 35 * -----	1-11	
20	A HOLMSTROM SVEN T S ET AL: "MEMS Laser Scanners: A Review", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, US, vol. 23, no. 2, 1 avril 2014 (2014-04-01), pages 259-275, XP011544460, ISSN: 1057-7157, DOI: 10.1109/JMEMS.2013.2295470 [extrait le 2014-03-31] * le document en entier * -----	1-11	
25			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
30			G02B
35			
40			
45			
50	Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
55	Lieu de la recherche Munich	Date d'achèvement de la recherche 28 octobre 2021	Examinateur Jakober, François
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 21 17 9932

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

28-10-2021

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
	WO 2018222727 A1	06-12-2018	AUCUN	
15	FR 2923092 A1	01-05-2009	AT 505742 T EP 2206011 A1 FR 2923092 A1 WO 2009056588 A1	15-04-2011 14-07-2010 01-05-2009 07-05-2009
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55	EPO FORM P0460			

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **SVEN HOLMSTROM et al.** MEMS laser scanners : a review. *Journal of Microelectromechanical Systems*, Avril 2014 [0119]
- **DE DEFAY.** *Intégration of Ferroelectric and Piezoelectric Thin Films* [0119]
- **HSUEH et al.** Thermal stress analyses of multilayered films on substrates and cantilever beams for micro sensors and actuators. *J. Micromech. Microeng.*, 2006, vol. 16, 2509-2515 [0119]
- **JIE SUN et al.** Large-scale nanophotonic phased array. *Nature*, Janvier 2013, vol. 493 (11727), 195-199 [0119]